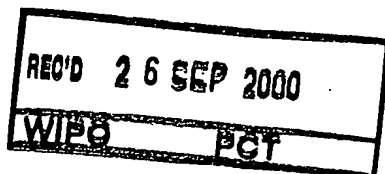


**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



#2 *Sm* S/zu/a

DE 00/02434

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

199 34 055.2

E N

Anmeldetag:

19. Juli 1999

Anmelder/Inhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung:

Verfahren zum Ermitteln von Amplitude und Phasen-
winkel eines einem Strom oder einer Spannung eines
elektrischen Energieversorgungsnetzes entspre-
chenden Meßsignals

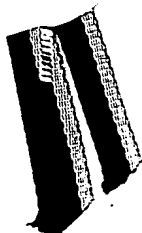
IPC:

G 01 R 19/252

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. August 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurke



Beschreibung

Verfahren zum Ermitteln von Amplitude und Phasenwinkel eines
einem Strom oder einer Spannung eines elektrischen Energie-
5 versorgungsnetzes entsprechenden Meßsignals

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln von Ampli-
tude und Phasenwinkel eines einem Strom oder einer Spannung
an einem elektrischen Energieversorgungsnetz entsprechenden
10 Meßsignals mit Abtastwerten des Meßsignals, wobei mit den Ab-
tastwerten anhand eines mindestens einen sinusförmigen Anteil
enthaltenden Modells für das Meßsignal unter Anwendung eines
rekursiven least-squares-Schätzverfahrens die Amplitude und
die Phase des Meßsignals errechnet werden.

15

Ein derartiges Verfahren ist in einem Aufsatz von M.S. Sach-
dev und M. Nagpal "A recursive least squares error algorithm
for power system relaying and measurement applications", IEEE
Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No. 3, July 1991 beschrie-
20 ben. Bei diesem bekannten Verfahren werden aus einem einem
Strom oder einer Spannung eines elektrischen Energieversor-
gungsnetzes entsprechenden Meßsignal Abtastwerte gebildet und
daraus mittels eines linearen least-squares-Schätzverfahrens
unter Benutzung eines das Meßsignal modellierenden sinusförm-
25 igen Signalmodells ein komplexer Zeiger gebildet, der Am-
plitude und Phasenwinkel des Meßsignals angibt. Dabei werden
in einem ersten Schritt Real- und Imaginärteil des Zeigers
jeweils für sich ermittelt. Aus dem Real- und Imaginärteil
des Zeigers kann in einem zweiten Schritt mittels einer
30 Koordinatentransformation die Polarkoordinatendarstellung des
komplexen Zeigers, d. h. Betrag und Phase des Zeigers,
ermittelt werden.

Bei dem bekannten Verfahren wird davon ausgegangen, daß die Frequenz des Meßsignals bekannt ist. Ist dies nicht der Fall oder verändert sich die Frequenz, dann wird zur Ermittlung der Frequenz des Meßsignals ein getrenntes Verfahren benötigt. Bekannt sind da beispielsweise Verfahren, die den Abstand der Nulldurchgänge des Meßsignals ausmessen und auf Basis dieser Periodendauermessung die Frequenz des Meßsignals ermitteln, siehe z.B. E. Schröder (Hrsg.): "Lexikon Meß- und Automatisierungstechnik", VDI-Verlag, 1992, S.204. Weiterhin ist ein Verfahren zur Frequenzmessung bekannt, bei dem das zu untersuchende Meßsignal parallel jeweils mit einem Hochpaß und einem Allpaß gefiltert wird (Deutsche Patentschrift DE 42 11 946). Über das Verhältnis der Amplituden der Ausgangssignale dieser beiden Filter kann die Frequenz des Meßsignals bestimmt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem gleichzeitig und schnell alle signifikanten Größen des Meßsignals ermittelt werden können.

20

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs angegebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein aus dem sinusförmigen Anteil bestehendes Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung $y = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)$ verwendet wird, wobei y einen Momentanwert des Modells für das Meßsignal, A die Amplitude, f die Frequenz, φ den Phasenwinkel und t die Zeit bezeichnet; mit diesem Modell für das Meßsignal und mit den Abtastwerten wird mittels eines rekursiven nichtlinearen least-squares-Schätzverfahrens gemeinsam mit der Amplitude und dem Phasenwinkel auch die Frequenz des Meßsignals durch die Schätzung bestimmt.

30

Es ist zwar aus dem Buch von H.-J. Hermann „Digitale Schutztechnik“, 1997, S. 110-111 bekannt, in der Schutztechnik ein rekursives, nichtlineares least-squares-Schätzverfahren einzusetzen, jedoch enthält das Buch keinen Hinweis darauf, daß mit einem solchen Schätzverfahren aus 5 Abtastwerten eines Meßsignals in einem einzigen Meßwertverarbeitungsprozeß Amplitude, Phasenwinkel und Frequenz des Meßsignals bestimmbar sind.

- 10 Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht jedoch gerade darin, daß aus den Abtastwerten des Meßsignals außer Amplitude und Phasenwinkel in einem Meßwertverarbeitungsprozeß auch die Frequenz ermittelt wird und somit Amplitude, Phasenwinkel und Frequenz des Meßsignals 15 demselben Zeitpunkt zugeordnet sind.

Die Verwendung des Modells für das Meßsignal $y = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)$ führt zu guten Ergebnissen, wenn das Meßsignal einen rein sinusförmigen Verlauf hat. Ist in dem Meß- 20 signal ein Gleichanteil vorhanden, wird vorteilhafterweise ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung $y = A \cdot \sin(2\pi f t + \varphi) + d$ verwendet, wobei der Summand d den Gleichanteil des Meßsignals modelliert.

- 25 Handelt es sich bei dem Meßsignal um ein Signal, dessen Frequenz sich mit der Zeit ändert, dann kann vorteilhafterweise bei solchen Meßsignalen ohne Gleichanteil ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung

$$y = A \cdot \sin\left(2\pi \sum_{i=0}^n (f^{(i)} t^i) + \varphi\right) \text{ und bei Meßsignalen mit}$$

- 30 Gleichanteil ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung

$$y = A \cdot \sin\left(2\pi \sum_{i=0}^n (f^{(i)} t^i) + \varphi\right) + d$$

4

verwendet werden, wobei $f^{(i)}$ die Ableitung i-ter Ordnung der Frequenz nach der Zeit bezeichnet und eine Frequenzänderung über der Zeit modelliert und durch Wahl der Größe n verschiedene Ordnungen der Ableitung der Frequenz nach der Zeit berücksichtigt werden. Bei diesen Modellen wird in

5 Fortbildung des oben angegebenen Modells $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$

die Frequenz f durch den Ausdruck $\sum_{i=0}^n (f^{(i)} t^i)$ ersetzt; bei Berücksichtigung nur einer Ableitung 0-ter Ordnung wird der Summenausdruck zu $f^{(0)}$ bzw. f . Diese erweiterten Modelle ermöglichen es, neben den Größen Amplitude A , Phasenwinkel φ und Frequenz f auch Frequenzänderungen $f^{(i)}$ über der Zeit zu ermitteln.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungs-
15 gemäßen Verfahrens werden die durch das Schätzverfahren ermittelten Werte der Amplitude A , des Phasenwinkels φ und der Frequenz f erst dann als Ergebnis ausgegeben, wenn der Schätzfehler kleiner ist als ein kleinster zugelassener Schätzfehler. Dies hat den Vorteil, daß insbesondere die zu
20 Beginn des Verfahrens geschätzten, mit großen Schätzfehlern behafteten Werte nicht ausgegeben werden und somit die großen Schätzfehler für einen Benutzer des Verfahrens keine negativen Folgen haben können.

25 Zur weiteren Erläuterung der Erfindung sind in Figur 1 anhand eines Blockschaltbildes der Ablauf eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens, in Figur 2 Verläufe eines Meßsignals, eines mit einem Modell $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$ für das Meßsignal ermittelten
30 Schätzsignals y_s und des sich ergebenden Fehler F , in

Figur 3 Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem rein sinusförmigen Meßsignal bei Verwendung eines entsprechenden Modells für das Meßsignal getrennt nach den zeitlichen Verläufen von Amplitude, Phasenwinkel und

5 Frequenz, in

Figur 4 Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem offsetbehafteten, d. h. einen Gleichanteil enthaltenden Meßsignal getrennt nach den zeitlichen Verläufen von

10 Amplitude, Phasenwinkel und Frequenz bei Verwendung eines keinen Gleichanteil modellierenden Modells für das Meßsignal, und in

Figur 5 Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens bei einem offsetbehafteten, d. h. einen Gleichanteil enthaltenden Meßsignal getrennt nach den zeitlichen Verläufen von

15 Amplitude, Phasenwinkel, Frequenz und Gleichanteil bei Verwendung eines einen Gleichanteil modellierenden Modells für das Meßsignal gezeigt.

Gemäß Figur 1 liegen Abtastwerte y_m eines Meßsignals u_m nach
20 Abtastung in einer Abtast-Halte-Schaltung 1 und Analog-Digital-Umsetzung in einem Analog-Digital-Umsetzer 2 an einem Eingang 3 einer Datenverarbeitungsanlage 4. Die Datenverarbeitungsanlage 4 beinhaltet eine Einheit 5 zur Durchführung eines rekursiven nichtlinearen least-squares-Schätzverfahrens. Zu Beginn des rekursiven Schätzverfahrens werden für
25 die Größen Amplitude A , Frequenz f und Phasenwinkel φ Startwerte SW in die Einheit 5 eingegeben und liegen am Ausgang 6 der Einheit 5 als Schätzungsausgangswerte $\underline{\Theta}_{(0)}$. Die Schätzungsausgangswerte $\underline{\Theta}_{(0)}$ werden zu einem Block 7
30 geleitet, der ein Modell für das Meßsignal beinhaltet.

Im Block 7 wird aus den Schätzungsausgangswerten $\underline{\Theta}_{(0)}$ unter Berücksichtigung des Modells für das Meßsignal ein Startsignalwert y_{s0} ermittelt, der am Ausgang des Blockes 7 ausgegeben und auf einen Eingang 8 der Einheit 5 geführt wird.

Die Einheit 5 ermittelt aus einem (ersten) Abtastwert y_m des Meßsignals u_m und dem Startsignalwert y_{s0} einen Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ gemäß der untengenannten Beziehung (3). Dieser Schätzfehler wird oberhalb eines zugelassenen kleinsten Schätzfehlers liegen. Deshalb werden in der Einheit 5 ausgehend von den Schätzungsausgangswerten $\underline{\Theta}_{(0)}$ nach den Regeln für rekursive nichtlineare least-squares-Schätzungen entsprechend der untenstehenden Beziehung (1) neue Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(1)}$ gebildet, am Ausgang 6 der Einheit 5 ausgegeben und zu Block 7 geleitet.

In Block 7 wird aus den neuen Schätzungswerten $\underline{\Theta}_{(1)}$ ein Schätzsignalwert y_{s1} ermittelt, der am Ausgang des Blockes 7 ausgegeben und auf den Eingang 8 der Einheit 5 geführt wird. Die Einheit 5 ermittelt aus den (ersten beiden) Abtastwerten y_m und dem Startsignalwert y_{s0} und dem Schätzsignalwert y_{s1} wiederum einen Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ nach der untengenannten Beziehung (3). Auch dieser Schätzfehler wird im allgemeinen oberhalb des kleinsten zugelassenen Schätzfehlers liegen. Deshalb werden in der Einheit 5 ausgehend von den Schätzungswerten $\underline{\Theta}_{(1)}$ der vergangenen Schätzung nach der Beziehung (1) wieder neue Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(2)}$ ermittelt. Diese Schritte werden solange wiederholt, bis der Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ unterhalb eines kleinsten zugelassenen Schätzfehlers liegt.

Zur Feststellung, ob der Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ unterhalb eines kleinsten zugelassenen Schätzfehlers liegt, wird ein Block 9 genutzt. Block 9 erhält über einen Eingang 10 von der Einheit 5 die Abtastwerte y_m des Meßsignals u_m , den Startsignalwert y_{s0} und die Schätzsignalwerte y_{s1} bis y_{sk} , welche in der Einheit 5 zwischengespeichert sind. Wenn der Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ unterhalb eines kleinsten zugelassenen Schätzfehlers liegt, dann wird an einem Ausgang 11 des Blocks 9 ein Schaltsignal ausgegeben, welches einen Schalter 12 durchschaltet. Der Schalter 12 leitet die dann am Ausgang 6 der Einheit 5 vorliegenden Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(k)}$ an einen Ausgang 13 der Datenverarbeitungsanlage 4 weiter. Die Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(k)}$ werden dann als Ergebniswerte des Schätzverfahrens ausgegeben und stellen die mit einer hinreichenden Genauigkeit geschätzten Werte für Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel des Meßsignals dar. Das Schätzverfahren läuft danach wie oben beschrieben weiter und ermöglicht eine kontinuierliche Ermittlung der Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(k)}$.

20

Die Einheit 5 ermittelt die Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(k)}$ entsprechend der folgenden Beziehung (1).

$$\underline{\Theta}_{(k)} = \underline{\Theta}_{(k-1)} + \underline{P}_{(k)} \underline{\gamma}_{(k)} (y_{(k)} - h(\underline{\varphi}_{(k)}, \underline{\Theta}_{(k-1)})) \quad (1)$$

25

In der Beziehung (1) stellt $\underline{\Theta}_{(k)}$ einen Vektor dar, der die Schätzungswerte der zu bestimmenden Größen, hier also Amplitude A , Frequenz f und Phasenwinkel φ , nach k Schätzschritten enthält; mit $\underline{\Theta}_{(k-1)}$ ist ein Vektor bezeichnet, der sich bei der Schätzung nach $k-1$ Schätzschritten ergibt. Die

30

Matrix $\underline{P}_{(k)}$ ist eine sogenannte symmetrische Präzisionsmatrix, deren Ermittlung weiter unten anhand der Beziehung (2) dargestellt ist. Die Funktion $h(\underline{\varphi}_{(k)}, \underline{\Theta}_{(k-1)})$ beinhaltet das Modell für das Meßsignal. Der Vektor $\underline{\gamma}_{(k)}$ enthält die partiellen Ableitungen des Modells $h(\underline{\varphi}_{(k)}, \underline{\Theta}_{(k-1)})$ für das Meßsignal nach den Parametern des Modells für das Meßsignal, d.h. Ableitungen nach Amplitude, Phasenwinkel und Frequenz. Die Größe $y_{(k)}$ ist der k-te Abtastwert des Meßsignals.

Zur Bestimmung der Präzisionsmatrix $\underline{P}_{(k)}$ wird eine Beziehung (2) angewandt.

$$\underline{P}_{(k)} = \frac{1}{\lambda} \left(\underline{P}_{(k-1)} - \frac{\underline{P}_{(k-1)} \cdot \underline{\gamma}_{(k)}}{\lambda + \underline{\gamma}_{(k)}^T \underline{P}_{(k-1)} \underline{\gamma}_{(k)}} \cdot \underline{\gamma}_{(k)}^T \underline{P}_{(k-1)} \right) \quad (2)$$

Der Faktor λ bestimmt die exponentielle Wichtung vergangener Abtastwerte des Meßsignals. Zu Beginn des Verfahrens wird für die Präzisionsmatrix $\underline{P}_{(k)}$ ein Startwert verwendet.

Der Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ nach der k-ten Schätzung wird mittels der Beziehung

$$F_{\text{Schätz}} = \frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k (y_{mi} - y_{si})^2 \quad (3)$$

ermittelt. Dabei ist N die Anzahl der zu berücksichtigenden Abtastwerte y_m des Meßsignals u_m und der zu berücksichtigenden Schätzsignalwerte y_s , y_{mi} der i-te Abtastwert des Meßsignals u_m und y_{si} der i-te Schätzsignalwert.

Der Schätzfehler $F_{\text{Schätz}}$ wird ermittelt, indem N Abtastwerte y_{mi} des Meßsignals u_m und N Schätzsignalwerte y_{si} ausgewertet

werden. Eine sinnvolle Größe für N ist der Quotient (Abtastfrequenz der Abtast-Halte-Schaltung 1) / (geschätzte Frequenz), N kann jedoch auch größer gewählt werden. Beim ersten Schätzungsdurchlauf wird für N der Quotient

5 (Abtastfrequenz der Abtast-Halte-Schaltung 1) / (Startwert SW der Frequenz) benutzt. Wenn zu Beginn des Schätzverfahrens noch nicht N Abtastwerte y_{mi} des Meßsignals u_m bzw. N Schätzsignalwerte y_{si} vorliegen, so werden nur die vorliegenden Werte zur Bestimmung des Schätzfehlers $F_{\text{Schätz}}$
10 benutzt.

Weitere Einzelheiten zur Durchführung rekursiver nichtlinearer least-squares-Schätzverfahren sind in den Druckschriften J. Wede; D. Werner: "Echtzeitprozeßmodelle auf der Basis von Parameterschätzverfahren", Reihe Automatisierungstechnik, Band 214, VEB Verlag Technik, Berlin, 1985, S. 15 30 - 34, S. 44 - 50, 56, 57 und Hans-Joachim Herrmann: "Digitale Schutztechnik: Grundlagen, Software, Ausführungsbeispiele", VDE-Verlag 1997, S. 104 - 113 bzw. A. Jurisch: "Digitale Impedanzmeßverfahren auf der Basis von 20 Identifikationsmethoden", Dissertation, Technische Hochschule Zittau, 1990, Beilage 4.6.3 beschrieben.

Figur 2 zeigt den zeitlichen Verlauf eines sinusförmigen Meßsignals u_m , dessen Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel mit dem Schätzverfahren gemäß Figur 1 zu ermitteln sind. Desweiteren sind als Kurve y_s die Schätzsignalwerte $y_{s1} \dots y_{sk}$ über der Zeit gezeigt, die am Ausgang des Blockes 7 ausgegeben werden. Ebenso ist der Verlauf der Werte des 30 Fehlers F , welcher sich aus der Differenz zwischen dem Meßsignal u_m und den Schätzsignalwerten $y_{s1} \dots y_{sk}$ ergibt, über der Zeit t dargestellt. Die gezeigten Verläufe ergeben sich bei einem Schätzverfahren, das mit dem Modell

$y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$ für das Meßsignal durchgeführt wurde. Es ist zu erkennen, daß der Verlauf der Kurve y_s mit dem Verlauf des Meßsignals u_m nach ca. 20 ms übereinstimmt; der Fehler F nimmt dann sehr kleine Werte an. Das Schätzverfahren

5 ermöglicht also nach ca. einer Periodendauer des Meßsignals u_m die korrekte Bestimmung der Amplitude, der Frequenz und des Phasenwinkels des Meßsignals.

10 In der Figur 3 sind unter Berücksichtigung der in Figur 2 gezeigten Verläufe die mit den Schätzsignalwerten $y_{s1} \dots y_{sk}$ verknüpften Schätzungswerte $\underline{\Theta}_{(1)} \dots \underline{\Theta}_{(k)}$ über der Zeit t getrennt nach den sie bestimmenden Größen A , ω bzw. $2\pi f$ und φ aufgetragen. Figur 3 zeigt in einem oberen Diagramm den mit dem Schätzverfahren gemäß Figur 1 ermittelten Verlauf der

15 Amplitude A , in einem mittleren Diagramm den Verlauf der der Frequenz f proportionalen Größe $\omega = 2\pi f$ und in einem unteren Diagramm den Verlauf des Phasenwinkels φ jeweils über der Zeit aufgetragen. Entsprechend Figur 2 ergibt sich, daß die zeitlichen Verläufe nach ca. 20 ms auf ihren Endwert bei

20 kleinstem zugelassenen Schätzfehler eingeschwungen sind und das Ergebnis des Schätzverfahrens anzeigen.

Figur 4 zeigt in einer mit Figur 3 übereinstimmenden Darstellungsart die in einer weiteren Schätzung mit dem

25 Modell für das Meßsignal $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$ ermittelten zeitlichen Verläufe von Amplitude A , Frequenz f und Phasenwinkel φ , wenn Abtastwerte eines Meßsignals verwendet werden, das einen Gleichanteil enthält. In den Verläufen von Frequenz und Phasenwinkel sind auch für Zeiten größer als

30 20 ms starke zeitliche Schwankungen enthalten. Diese Schwankungen weisen auf eine fehlerbehaftete Schätzung hin

und sind ein Hinweis darauf, daß das gewählte Modell für ein
einen Gleichanteil enthaltendes Meßsignal ungünstig ist.

Figur 5 zeigt die in einer Schätzung mit dem Modell

- 5 $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) + d$ für das Meßsignal ermittelten
zeitlichen Verläufe von Amplitude A , Frequenz f , Phasenwinkel
 φ und Gleichanteil d , wenn Abtastwerte eines Meßsignals
verwendet werden, das einen Gleichanteil enthält. Durch
Nutzung des eben genannten Modells für das Meßsignal werden
10 Schwankungen in den zeitlichen Verläufen von Frequenz und
Phasenwinkel vermieden; es wird folglich eine im Hinblick auf
den Schätzfehler bessere Schätzung durchgeführt.

Patentansprüche

5 1. Verfahren zum Ermitteln von Amplitude und Phasenwinkel
eines einem Strom oder einer Spannung an einem elektrischen
Energieversorgungsnetz entsprechenden Meßsignals mit
Abtastwerten des Meßsignals, wobei mit den Abtastwerten
anhand eines mindestens einen sinusförmigen Anteil
10 enthaltenden Modells für das Meßsignal unter Anwendung eines
rekursiven least-squares-Schätzverfahrens die Amplitude und
die Phase des Meßsignals errechnet werden,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
- ein aus dem sinusförmigen Anteil bestehendes Modell für
15 das Meßsignal gemäß der Beziehung $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi)$ verwendet
wird, wobei y einen Momentanwert des Modells für das Meß-
signal, A die Amplitude, f die Frequenz, φ den
Phasenwinkel und t die Zeit bezeichnet, und
- mit diesem Modell für das Meßsignal und mit den Ab-
20 tastwerten mittels eines rekursiven nichtlinearen least-
squares-Schätzverfahrens gemeinsam mit der Amplitude (A)
und dem Phasenwinkel (φ) auch die Frequenz (f) des Meßsi-
gnals durch die Schätzung bestimmt wird.

25 2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung
 $y = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) + d$ verwendet wird, wobei d den Gleichanteil
des Meßsignals modelliert.

30 3. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß

ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung

$y = A \cdot \sin\left(2\pi \sum_{i=0}^n (f^{(i)} t^i) + \varphi\right)$ verwendet wird, wobei $f^{(i)}$ die Ableitung

i -ter Ordnung der Frequenz nach der Zeit bezeichnet und eine Frequenzänderung über der Zeit modelliert und durch Wahl der

5 Größe n verschiedene Ordnungen der Ableitung der Frequenz nach der Zeit berücksichtigt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
ein Modell für das Meßsignal gemäß der Beziehung

$y = A \cdot \sin\left(2\pi \sum_{i=0}^n (f^{(i)} t^i) + \varphi\right) + d$ verwendet wird, wobei $f^{(i)}$ die

Ableitung i -ter Ordnung der Frequenz nach der Zeit bezeichnet und eine Frequenzänderung über der Zeit modelliert und durch Wahl der Größe n verschiedene Ordnungen der Ableitung der

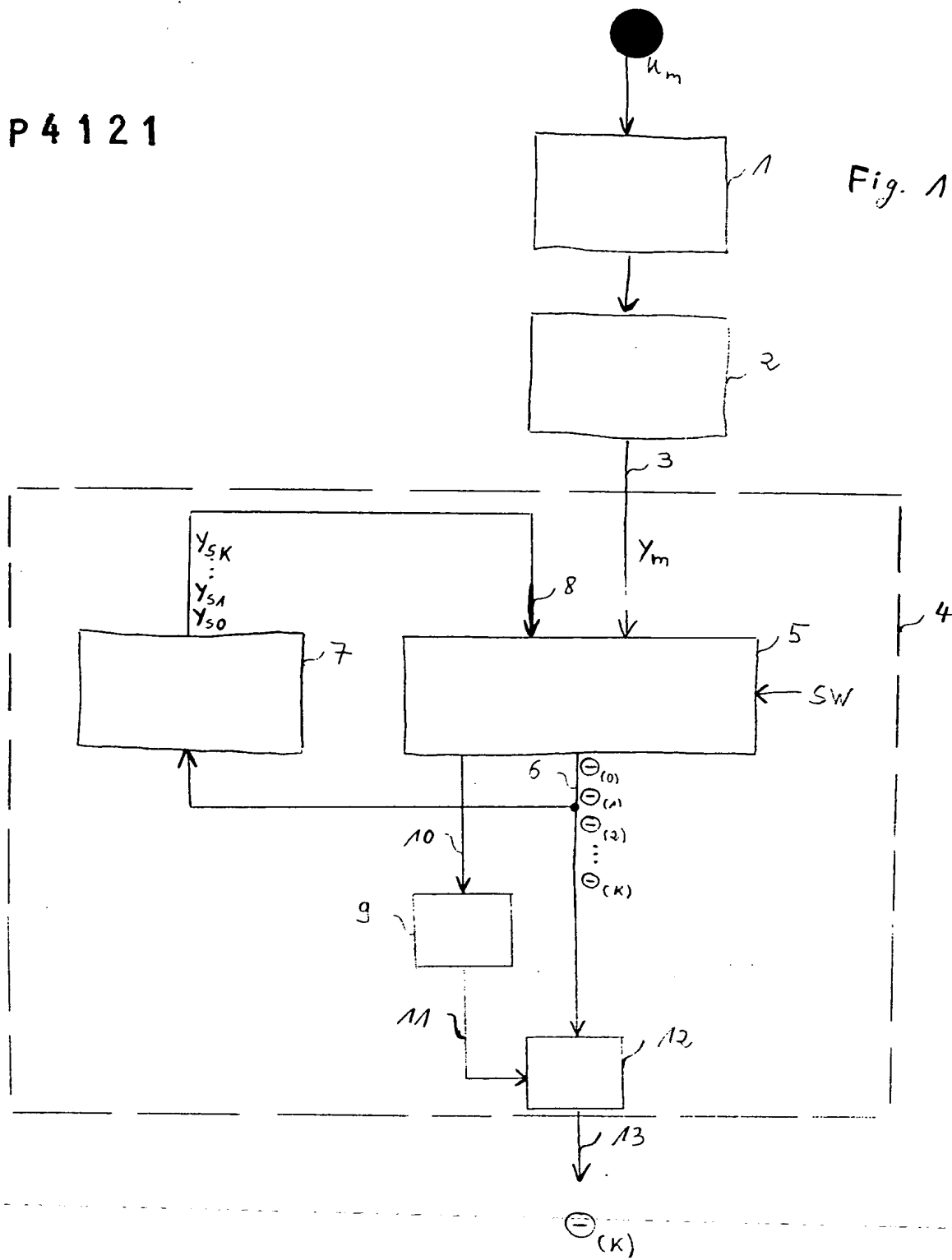
15 Frequenz nach der Zeit berücksichtigt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß
die durch das Schätzverfahren ermittelten Werte der Amplitude (A), des Phasenwinkels (φ) und der Frequenz (f) erst dann als Ergebniswerte ausgegeben werden, wenn der Schätzfehler kleiner ist als ein kleinster zugelassener Schätzfehler.

99 P 4 1 2 1

Fig. 1



99 P 4 1 2

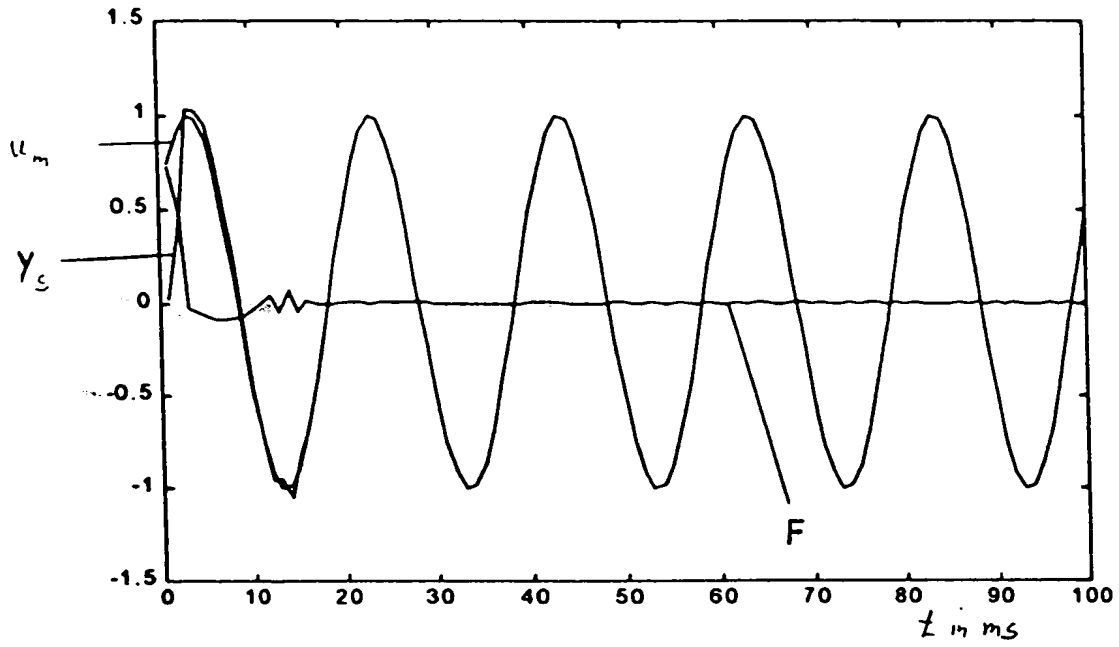


Fig. 2

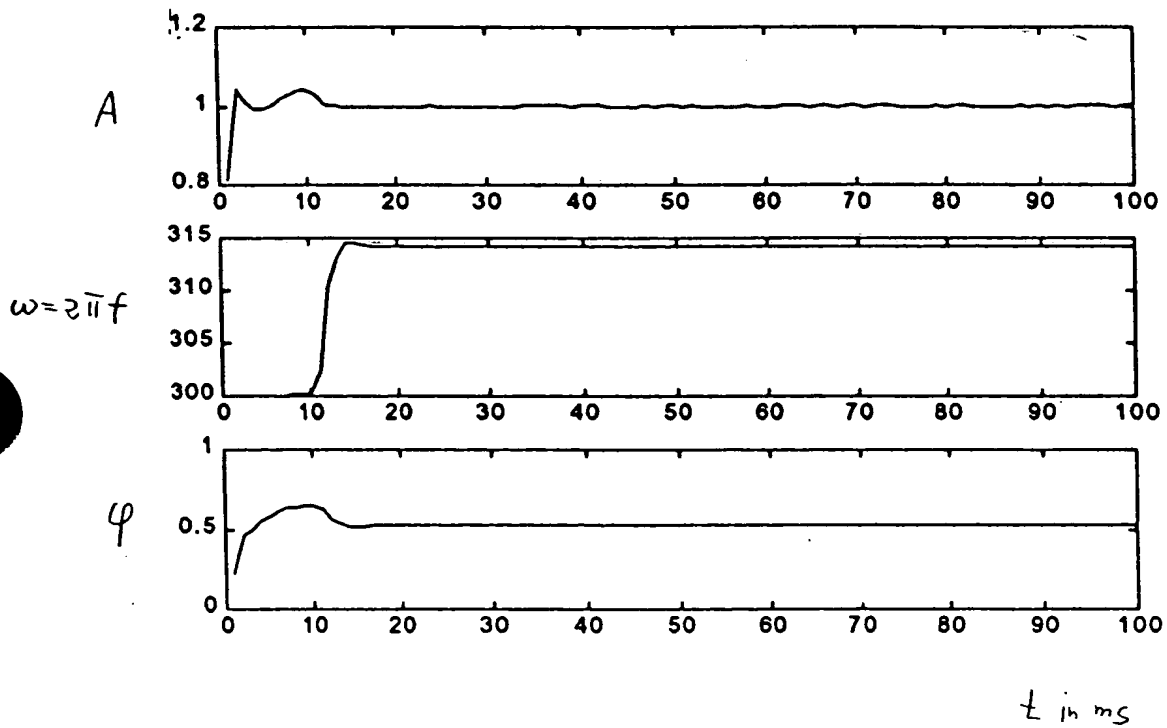


Fig. 3

99 P 4 1 2 1

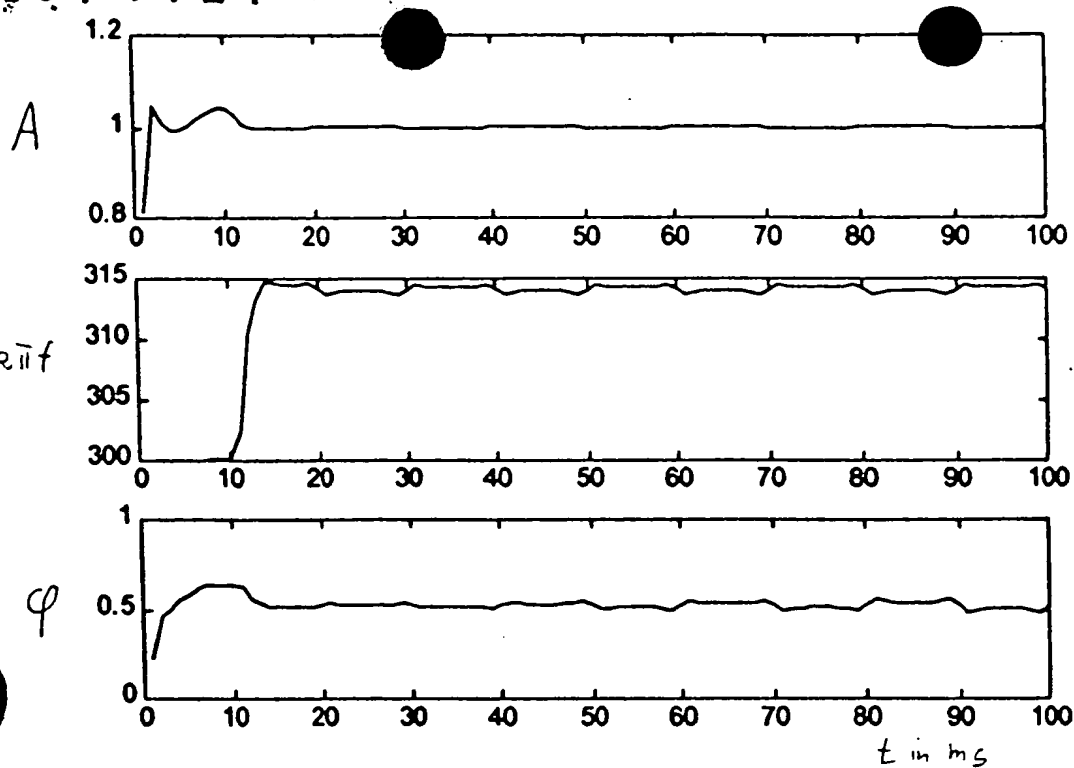


Fig. 4

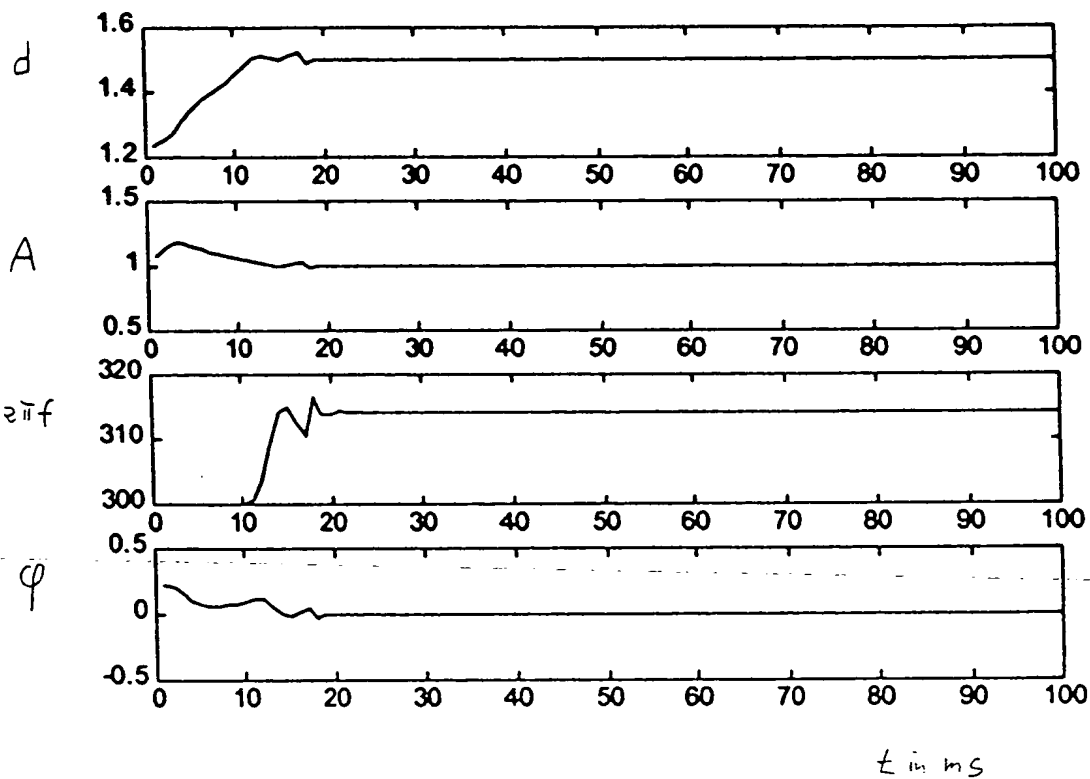


Fig. 5

THIS PAGE BLANK (USPTO)